

SECRETARIA DE COMERCIO

Y

FOMENTO INDUSTRIAL

NORMA MEXICANA

NMX-AA-002-1977

EVALUACION DE LAS EMISIONES DE HUMO PROVENIENTES DE MOTORES ESTACIONARIOS QUE USAN COMBUSTIBLE DIESEL

METHOD FOR MEASUREMENT OF THE OPACITY OF EXHAUST GAS FROM DIESEL ENGINES

DIRECCION GENERAL DE NORMAS

EVALUACION DE LAS EMISIONES DE HUMO PROVENIENTES DE MOTORES ESTACIONARIOS QUE USAN COMBUSTIBLE DIESEL

METHOD FOR MEASUREMENT OF THE OPACITY OF EXHAUST GAS FROM DIESEL ENGINES

1 OBJETIVO

Esta Norma establece las condiciones y el método de prueba de laboratorio para evaluar las emisiones de humo en motores estacionarios que usan combustible diesel.

2 CAMPO DE APLICACION

2.1 Se aplica para evaluar las emisiones de humo provenientes de los motores estacionarios de uso industrial y motores automotrices no instalados en vehículos que usan combustible diesel.

3 REFERENCIAS

Esta norma se complementa con las normas en vigor siguientes:

NMX-AA-013	Evaluación de las emisiones de humo provenientes de vehículos automotores equipados con motor diesel.
NMX-AA-023	Nomenclatura para definir los términos utilizados en contaminación atmosférica.

4 DEFINICIONES

4.1 Para los propósitos de esta norma se entiende

4.1.1 Temperatura del aire de admisión.- Es la temperatura ambiente medida en el momento de efectuar la prueba.

4.2.1 Lecturas observadas.- Son los valores registrados durante el desarrollo de la prueba

4.1.3 Lecturas corregidas.- Son los valores observados, modificados por medio de los factores de corrección que indica esta norma.

5 FUNDAMENTO

Al operar un motor con el acelerador totalmente abierto, aplicándole gradualmente carga por medio de un dinamómetro de banco, se obtienen diferentes regímenes de operación y condiciones estabilizadas de emisión de humo, en los que se determina la opacidad del humo emitido.

6 APARATOS Y EQUIPO

6.1 Opacímetro de flujo contínuo (graduado en unidades Hartridge).

Debe cumplir con las especificaciones y características del aparato mencionado en la Norma NMX-AA-013.

6.2 Dinamómetro de banco, con la capacidad necesaria para absorber la energía liberada en la flecha motriz del motor.

7 PREPARACION DEL EQUIPO

7.1 Se prepara el dinamómetro según las instrucciones de operación del fabricante.

7.2 Se acopla el motor al dinamómetro de banco;

7.3 Se introduce la sonda del opacímetro en el tubo de escape, de acuerdo a las instrucciones del fabricante del equipo.

7.4 El motor debe estar en las condiciones normales de funcionamiento especificadas por el fabricante. En particular el agua del sistema de enfriamiento y el aceite deben estar a la temperatura normal de operación, así como la contrapresión de escape debe corresponder a la del sistema en donde se aplique el motor.

7.5 El sistema de escape no debe tener ningún orificio adicional a los de diseño, susceptible de provocar una dilucion o fuga de los gases emitidos.

8 PROCEDIMIENTO

Se seleccionan 6 regímenes de operación repartidos uniformemente entre el régimen correspondiente a la velocidad de potencia máxima efectiva y el mayor de los 2 regímenes de rotación siguientes: 45% de la velocidad de potencia máxima efectiva ó 1,000 r.p.m. (el que sea mayor de ambos). Se procede a la medición de la opacidad del humo producido por el motor, funcionando éste a plena carga en cada uno de los 6 regímenes seleccionados.

9 EXPRESION DE RESULTADOS Y VALORES LIMITES

9.1 Para cada uno de los 6 regímenes de rotación seleccionados, se procede al cálculo del flujo nominal de gases G, el que se calcula de acuerdo a las siguientes fórmulas:

G = Vn / 60, para motores de dos tiempos

G = Vn / 120, para motores de cuatro tiempos

En donde:

G = flujo nominal del gas para motores de aspiración natural y turbocargados, en litros por segundo.

V = desplazamiento del motor, en litros.

n = velocidad angular del motor en el régimen de rotación correspondiente, en revoluciones por minuto.

9.2 En cada uno de los regímenes de rotación y con el flujo nominal obtenido en el punto 9.1. se obtiene en la tabla 10.1. el coeficiente de absorción correspondiente, para pruebas efectuadas a una presión barométrica de 760 mm de Hg.

9.3 Para las pruebas efectuadas a una presión barométrica inferior a 760 mm de Hg, al valor obtenido del coeficiente de absorción en la tabla del punto 10.1. se le suma el valor del factor de corrección de la tabla del punto 10.3.

9.4 Cuando los valores del flujo nominal o del coeficiente de absorción no corresponden a los que aparecen en la tabla del punto 10.1., los valores reales a considerar se obtienen por interpolación lineal.

9.5 El coeficiente de absorción obtenido en 9.2. ó 9.3. en su caso, se transforma a unidades Hartridge de acuerdo a la tabla del punto 10.2.

9.6 El valor obtenido en unidades Hartridge por medio de la tabla del punto 10.3. se compara con el valor obtenido en el opacímetro durante la prueba, siendo el primero éstos, el valor que no debe sobrepasarse para el régimen de rotación correspondiente. Determinando con esto si el vehículo cumple, o no, con los límites establecidos. Lo anterior debe calcularse para cada uno de los regímenes comprendidos entre el de la velocidad de potencia máxima efectiva y el correspondiente a 1,000 r.p.m. ó 45% de la velocidad de potencia máxima efectiva.

10 APENDICE

10.1 Valores límite dados en coeficiente de absorción correspondientes al flujo nominal.

FLUJO NOMINAL G (l/s)	COEFICIENTE DE ABSORCION K (m^{-1})
≤ 42	2.760
45	2.690
50	2.580
55	2.485
60	2.400
65	2.340
70	2.275
75	2.220
80	2.165
85	2.120
90	2.075
95	2.035
100	1.995
105	1.965
110	1.925
115	1.895
120	1.870
125	1.845
130	1.820
135	1.800
140	1.770
145	1.750
150	1.725
155	1.705
160	1.690
165	1.670
170	1.655
175	1.640
180	1.625
185	1.610
190	1.595
195	1.580
200	1.565

10.2 Correlación: unidades Hartridge correspondiente al coeficiente de absorción

COEFICIENTE DE ABSORCION	UNIDADES HARTRIDGE
0.1	4.2
0.2	8.2
0.3	12.1
0.4	15.8
0.5	19.3
0.6	22.7
0.7	26.0
0.8	29.1
0.9	32.1
1.0	34.9
1.1	37.7
1.2	40.3
1.3	42.9
1.4	45.2
1.5	47.5
1.6	49.8
1.7	51.9
1.8	53.8
1.9	55.9
2.0	57.7
2.1	59.4
2.2	61.2
2.3	62.8
2.4	64.5
2.5	65.9

Continuación de la Tabla II.

2.6	67.4
2.7	68.7
2.8	70.0
2.9	71.2
3.0	72.5
3.1	73.7
3.2	74.8
3.3	75.8
3.4	76.8
3.5	77.8
3.6	78.8
3.7	79.6
3.8	80.5
3.9	81.4
4.0	82.1
5.0	88.4
6.0	92.5
7.0	95.1

REGISTRO DE OBSERVACIONES

s / min	0	15	30	45	s / min	0	15	30	45
0	—	—	—	—	30	1	1	1	1
1	—	—	—	—	31	1	1	1	1
2	—	—	—	—	32	—	—	—	—
3	1	1	1	1	33	—	—	—	—
4	1	1	1	1	34	—	—	—	—
5	2	2	2	2	35	1	1	1	1
6	2	3	3	3	36	1	1	1	1
7	3	3	3	3	37	1	1	1	1
8	2	2	1	1	38	1	1	—	—
9	1	1	—	—	39	—	—	—	—
10	—	—	—	—	40	—	—	—	—
11	—	—	—	—	41	—	—	—	—
12	—	—	—	—	42	—	—	—	—
13	—	—	—	—	43	—	—	—	—
14	—	—	—	—	44	1	1	2	2
15	—	—	—	—	45	2	2	3	3
16	—	—	—	—	46	3	3	3	3
17	—	—	—	—	47	3	3	4	3
18	—	—	—	—	48	2	2	2	2
19	2	2	2	2	49	2	2	2	2
20	2	2	2	2	50	2	1	1	1
21	2	2	2	2	51	1	1	1	1
22	3	3	3	3	52	1	1	1	—
23	3	4	4	4	53	—	—	—	—
24	4	5	5	5	54	—	—	—	—
25	5	5	5	5	55	—	—	—	—
26	4	4	3	3	56	—	—	—	—
27	3	3	3	3	57	—	—	—	—
28	2	2	1	1	58	—	—	—	—
29	1	1	1	1	59	—	—	—	—

CALCULOS

Lecturas individuales	Tarjeta número	Equivalentes al número 1
7	5	35
7	4	28
27	3	81
34	2	68
52	1	52
113	0	0
240 = N		264 = Ne

N = Número total de lecturas

Ne = Número total de equivalentes al número 1

$$\% \text{ D.A.V.} = \frac{Ne \times 20}{N}$$

D.A.V. = Densidad Aparente Visual del Humo.

$$\% \text{ D.A.V.} = \frac{264 \times 20}{240}$$

D.A.V. = 22%

Observaciones Generales ______________________________

Juan Pérez

Firma del observador

10.3 Factores de corrección para los coeficientes de absorción en m-1, a diferentes presiones barométricas en mm de Hg.

mm de Hg	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
500	2.60	2.59	2.58	2.57	2.56	2.55	2.54	2.53	2.52	2.51
510	2.50	2.49	2.48	2.47	2.46	2.45	2.44	2.43	2.42	2.41
520	2.40	2.39	2.38	2.37	2.36	2.35	2.34	2.33	2.32	2.31
530	2.30	2.29	2.28	2.27	2.26	2.25	2.24	2.23	2.22	2.21
540	2.20	2.19	2.18	2.17	2.16	2.15	2.14	2.13	2.12	2.11
550	2.10	2.09	2.08	2.07	2.06	2.05	2.04	2.03	2.02	2.01
560	2.00	1.99	1.98	1.97	1.96	1.95	1.94	1.93	1.92	1.91
570	1.90	1.89	1.88	1.87	1.86	1.85	1.84	1.83	1.82	1.81
580	1.80	1.79	1.78	1.77	1.76	1.75	1.74	1.73	1.72	1.71
590	1.70	1.69	1.68	1.67	1.66	1.65	1.64	1.63	1.62	1.61
600	1.60	1.59	1.58	1.57	1.56	1.55	1.54	1.53	1.52	1.51
610	1.50	1.49	1.48	1.47	1.46	1.45	1.44	1.43	1.42	1.41
620	1.40	1.39	1.38	1.37	1.36	1.35	1.34	1.33	1.32	1.31
630	1.30	1.29	1.28	1.27	1.26	1.25	1.24	1.23	1.22	1.21
640	1.20	1.19	1.18	1.17	1.16	1.15	1.14	1.13	1.12	1.11
650	1.10	1.09	1.08	1.07	1.06	1.05	1.04	1.03	1.02	1.01
660	1.00	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94	0.93	0.92	0.91
670	0.90	0.89	0.88	0.87	0.86	0.85	0.84	0.83	0.82	0.81
680	0.80	0.79	0.78	0.77	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72	0.71
690	0.70	0.69	0.68	0.67	0.66	0.65	0.64	0.63	0.62	0.61
700	0.60	0.59	0.58	0.57	0.56	0.55	0.54	0.53	0.52	0.51
710	0.50	0.49	0.48	0.47	0.46	0.45	0.44	0.43	0.42	0.41
720	0.40	0.39	0.38	0.37	0.36	0.35	0.34	0.33	0.32	0.31
730	0.30	0.29	0.28	0.27	0.26	0.25	0.24	0.23	0.22	0.21
740	0.20	0.19	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11
750	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01
760	0	–	–	–	–	–	–	–	–	–

10.5 Ejemplo

10.5.1 Datos del motor y del lugar de pruebas

Presión barométrica: 696 mm de Hg

Motor:

Desplazamiento 5.8 1
4 tiempos
Velocidad de potencia máxima efectiva 2,800 r.p.m

10.5.2. Obtención del límite superior e inferior, para los regímenes en los que se obtienen lecturas.

Límite superior:

Velocidad de potencia máxima efectiva, 2,800 r.p.m

Límite inferior:

$$45\% \text{ de velocidad máxima efectiva} = \frac{45 \times 2800}{100} = 1{,}260 \text{ r.p.m.}$$

Debido a que el valor del 45% es mayor que 1,000 r.p.m., será 1,260 r.p.m. el valor que debe considerarse.

10.5.3 Posteriormente se obtienen cuatro regímenes repartidos uniformemente, entre los límites anteriores, procediendo para cada uno de ellos a efectuar las mediciones en el opacímetro conforme a los que establece esta norma. Una vez efectuadas las lecturas, se procede al cálculo de flujo nominal (G).

Velocidad del Motor	Lecturas Observadas	Flujo Nominal (G)
2800	94	G=5.8x2800/120=135.33 l/s
2492	76	G=5.8x2492/120=120.44 l/s
2184	28	G=5.8x2184/120=105.56 l/s
1876	34	G=5.8x2184/120=105.56 l/s
1568	57	G=5.8x1568/120=75.78 l/s
1260	84	G=5.8x1260/120=60.9 l/s

10.5.4 Una vez calculado el flujo nominal (G) para cada uno de los regímenes de rotación del motor, con la tabla del punto 10.1 se obtiene el coeficiente correspondiente y con la tabla del punto 10.3 se obtiene el factor de corrección para 696 mm de Hg, sumando éstos se obtiene el coeficiente de absorción corregido.

(G)	Coeficiente de absorción (K) para 760 mm de Hg	Factor de corrección	Coeficiente de absorción corregido.
135.33	1.798	+ 0.64	2.438
120.44	1.868	+ 0.64	2.438
105.56	1.961	+ 0.64	2.601
90.67	2.070	+ 0.64	2.710
75.78	2.212	+ 0.64	2.852
60.90	2.390	+ 0.64	3.030;

10.5.5 Con el coeficiente de absorción corregido se obtiene en la tabla del punto 10.2. el valor en unidades Hartridge.

Coeficiente de absorción corregido.	Unidades Hartridge máximas permitidas.	Lecturas obtenidas en unidades Hartridge.
2.438	65	* 94
2.508	66	* 76
2.601	67	28
2.710	69	34
2.852	71	57
3.030	73	* 84

* Estas lecturas sobrepasan el valor máximo permitido, por lo que este motor no cumple con los límites establecidos.

10.5.6 Para que un motor se considere por debajo del límite permitido de emisión de humo, todas las lecturas obtenidas en cada uno de los regímenes de rotación, no deben sobrepasar el valor obtenido como máximo permitido.

11 BIBLIOGRAFIA

11.1 A.E. Dodd y Z. Holubeki. The Measurement of Diesel Exhaust Smoke Control 1965/10. MIRA (Motor Industries Research Association).

11.2 Informe del grupo de trabajo Fuentes Móviles en colaboración con Leslie Hartridge. Diesel Exhaust Smoke Control. 1975/7. MIRA (Motor Industries Research Association)

MIRA (Motor Industries Research Association)

12 CONCORDANCIA CON NORMAS INTERNACIONALES

Esta norma concuerda básicamente con parte del Reglamento 24 de la Comunidad Económica Europea. Adopción de condiciones uniformes de homologación y reconocimiento recíproco de la homologación de equipos y piezas de vehículos de motor.

México, D.F., Febrero 17, 1977

EL C. DIRECTOR DE NORMAS

DR. ROMAN SERRA CASTAÑOS

Fecha de aprobación y publicación: Marzo 2, 1977

Regresar.